

# ارائه یک روش تکاملی به منظور زمین مرجع نمودن و کشف اشتباهات تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا

فاطمه علی دوست<sup>۱\*</sup>، فرزانه دادرس جوان<sup>۲</sup>

دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری - گروه مهندسی نقشه‌برداری - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران  
falidoost@ut.ac.ir

دکتری فتوگرامتری - گروه مهندسی نقشه‌برداری - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران  
fdadrasjavan@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۳۹۲، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۳)

## چکیده

زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا در اکثر کاربردهای سنجش از دور و فتوگرامتری مانند تولید تصاویر ارتو و مدل ارتفاعی رقومی مطرح می‌شود. در فرآیند زمین مرجع نمودن، وجود نقاط کنترل زمینی در تصویر نقش مهمی در برآورد پارامترهای مورد نیاز طی محاسبات سرشکنی دارد. بنابراین حضور اشتباهات در این نقاط، می‌تواند باعث اشتباهات بنیادی در محاسبات زمین مرجع نمودن و نتایج حاصل از سرشکنی شود. از الگوریتم‌های سنتی به منظور کشف اشتباهات، می‌توان دو روش Data Snooping و برآوردگر پایدار را نام برد. در حضور خطاهای سیستماتیک و اشتباهات در مشاهدات و یا در مدل ریاضی، هر دو روش دارای مشکلات قابل توجهی برای یافتن اشتباهات و حذف اثر آنها از روی نتایج هستند. در این تحقیق روشی جدید مبتنی بر الگوریتم تکاملی به منظور زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای و کشف هم‌زمان اشتباهات در نقاط کنترل زمینی، ارائه و نتایج آن با روش‌های سنتی مقایسه شده است. در این الگوریتم، طی برآورد کمترین مربعات، از طریق بیشینه کردن جذر میانگین مربعات باقیمانده‌های مربوط به نقاط چک، پارامترهای مربوط به زمین مرجع نمودن، برآورد و اشتباهات موجود در نقاط کنترل پیدا می‌شوند. توانایی این روش بر روی داده‌های ماهواره‌ای IKONOS و Worldview2 در دو منطقه‌ی مختلف، و در حالتی که اشتباهات دارای توزیع‌های گروهی و منفرد هستند، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که روش ارائه شده دارای کارایی بیشتری نسبت به روش‌های سنتی است به خصوص وقتی اشتباهات در مجموعه‌ای از نقاط کنترل مجاور هم وجود داشته باشد، این روش قادر به کشف همه‌ی اشتباهات است.

**واژگان کلیدی:** زمین مرجع نمودن، الگوریتم تکاملی، کشف اشتباه، تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا.

\* نویسنده رابط

## ۱- مقدمه

امروزه، تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا به عنوان یکی از مهمترین منابع تامین داده در بسیاری از کاربردهای فتوگرامتری و سنجش از دور مانند تهیه نقشه‌های شهری [۱]، تولید مدل ارتفاعی رقومی [۲]، مدیریت منابع زمینی، مدیریت سوانح طبیعی و پیشگیری از بحران و غیره مطرح می‌باشند [۳، ۲۳، ۲۲، ۲۱]. زمین مرجع نمودن این تصاویر یکی از مراحل ضروری و اولیه در بسیاری از پردازش‌های مربوط به استخراج عوارض، تشخیص تغییرات، ادغام اطلاعات و تهیه نقشه‌های عکسی است. مفهوم زمین مرجع نمودن، یافتن ارتباط بین فضای تصویر و فضای شیئی با استفاده از یک مدل ریاضی و یا یک مدل فیزیکی است. بدین منظور، پارامترهای توجیه خارجی تصویر توسط محاسبات سرشکنی دسته اشعه محاسبه می‌شوند [۳]. مدل‌های فیزیکی مورد استفاده در زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای، موسوم به مدل صریح<sup>۱</sup> هستند که با استفاده از هندسه‌ی تصویربرداری و معادلات شرط هم خطی تعریف می‌شوند. این مدل‌ها بر اساس پارامترهای کالیبراسیون سنجنده تعیین می‌شوند و غالباً بنا به دلایل مختلفی در دسترس نیستند. گروهی دیگر از مدل‌ها که مبنای ریاضی دارند، توابع پارامتریک<sup>۲</sup> یا کلی هستند که مستقل از پارامترهای تصویربرداری بوده و با کمک نقاط کنترل زمینی قابل حل هستند. از جمله‌ی این مدل‌ها می‌توان توابع چند جمله‌ای، توابع رشنال، تبدیل افاین سه بعدی، و تبدیل خطی مستقیم را نام برد [۳، ۲۳، ۲۲، ۲۱]. در این مدل‌ها، کیفیت نقاط کنترل زمینی نقش مهمی در دقت زمین مرجع نمودن تصاویر دارد. بعد از محاسبات سرشکنی دسته اشعه و تعیین پارامترهای توجیه خارجی تصویر، مقادیر باقیمانده برای بررسی وجود اشتباهات در نقاط کنترل زمینی ارزیابی می‌شوند. علاوه بر این اشتباهات، عوامل دیگری نیز وجود دارد که بر روی نتایج حاصل از سرشکنی تاثیر می‌گذارد. واضح است که احتیاط در جمع‌آوری مشاهدات، اولین اقدام برای جلوگیری از ورود اشتباهات است. علاوه بر این، روش‌های فیلتر کردن داده قبل از انجام سرشکنی برای حذف بعضی از مشاهدات اشتباه می‌تواند مفید باشد. با این حال همیشه تعدادی از مشاهدات اشتباه و خطاهای سیستماتیک در مرحله‌ی سرشکنی وجود دارند.

در سال‌های اخیر، روش‌های آماری متعددی برای کشف خطاهای سیستماتیک و اشتباهات بر اساس نتایج حاصل از سرشکنی توسعه یافته‌اند [۱۱، ۱۲، ۱۶، ۱۵، ۱۴، ۱۳]. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان روش Data Snooping و برآوردگر پایدار را نام برد. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد در صورتی که تعداد زیادی از خطاهای سیستماتیک و اشتباهات در مشاهدات حضور داشته باشند، روش Data Snooping با استفاده از آزمون‌های آماری در شناسایی خطاها و حذف اثر آنها دارای ضعف‌های قابل توجهی است. عملکرد روش‌های برآورد پایدار نیز همیشه رضایت بخش نیست زیرا محاسبات سرشکنی که این روش‌ها بر اساس آن تصمیم گیری می‌کنند آلوده به اشتباهات است. در این حالت تعدادی از اشتباهات، کشف نشده باقی می‌مانند، و تعدادی از مشاهدات صحیح، به اشتباه حذف می‌شوند. مشکل دیگر این روش‌ها افزایش زمان محاسبات به دلیل تکراری بودن فرآیند ارزیابی است که باعث غیر بهینه شدن این روش‌ها در یک پروسه‌ی مثلث بندی آنی می‌شود. در نتیجه به منظور کشف اشتباهات، باید از روش‌های بهینه‌سازی کلی<sup>۳</sup> استفاده شود.

ذات روش‌های بهینه‌سازی کلی بر مبنای جستجوی کلی است که می‌تواند تبدیل به ابزار قدرتمندی برای کشف اشتباهات شود. این روش‌ها می‌توانند به سه دسته اصلی تقسیم شوند: شبیه‌سازی بازپخت فلزات، روش‌های بازه‌های محاسباتی، و الگوریتم ژنتیک. شبیه‌سازی بازپخت فلزات روشی تکراری است که مشکلات روش‌های عمومی مبتنی بر تکرار را ندارد [۴]. روش‌های محاسباتی بهینه‌یابی، بر مبنای مجموعه شرایط لازم و کافی که در جواب مساله بهینه‌سازی صدق می‌کند، هستند و اغلب از گرادینان تابع هدف برای هدایت جستجو استفاده می‌کنند. وجود و یا عدم وجود محدودیت‌های بهینه‌سازی در این روش‌ها نقش اساسی دارد [۵]. الگوریتم ژنتیک از جمله قوی‌ترین روش‌های بهینه‌سازی کلی و بخشی از نظریه محاسبات تکاملی می‌باشد که اساس آن بر انتخاب طبیعی و برخی مفاهیم علم ژنتیک استوار است [۲۸، ۲۶، ۲۵]. در این تحقیق روشی جدید مبتنی بر الگوریتم ژنتیک به منظور زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا و کشف هم زمان اشتباهات منفرد و گروهی در نقاط کنترل زمینی ارائه و سپس نتایج حاصل با دو روش سنتی آزمون‌های آماری و برآوردگر پایدار مقایسه می‌شوند.

<sup>۱</sup> Rigorous<sup>۲</sup> Generic<sup>۳</sup> Global Optimization

## ۲- زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای

با توجه به استفاده‌ی روز افزون تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا در اکثر کاربردهای فتوگرامتری و سنجش از دور، تصحیح هندسی و زمین مرجع نمودن این تصاویر اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. بدین منظور، مدل‌های زیادی ارائه شده است که از جمله دقیق‌ترین مدل‌ها می‌توان به مدل صریح و مدل پارامتریک اشاره نمود. مشکل اصلی مدل صریح نیاز به معلوم بودن اطلاعات مداری ماهواره‌ی تصویربرداری است. این پارامترهای فیزیکی معمولاً برای تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا در دسترس نمی‌باشد. برخلاف روش صریح، مدل پارامتریک، یک مدل برازشی است و مستقل از نوع سنجنده و نوع دوربین است و نیاز به اطلاعات مداری ماهواره ندارد. یکی از این مدل‌های پارامتریک، مدل توابع رشنال است که می‌تواند در دو حالت زمین مستقل و زمین وابسته بررسی گردد [۶]. ضرایب زمین مستقل همراه فایل تصاویر ارسال می‌گردد ولی ضرایب زمین وابسته با استفاده از نقاط کنترل و توسط کاربر به دست می‌آید. بنابراین این ضرایب دقت بالایی مانند ضرایب زمین مستقل ندارند [۷]. توابع رشنال انتقال بین فضای زمین و عکس را از طریق نسبت دو چند جمله‌ای اجرا می‌کند. صورت کلی چندجمله‌ای توابع رشنال طبق رابطه (۱) است [۸، ۲۷، ۹].

$$x = \frac{P_1(X, Y, Z)}{P_2(X, Y, Z)}, \quad y = \frac{P_3(X, Y, Z)}{P_4(X, Y, Z)} \quad (1)$$

$$P = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k$$

در این رابطه  $(X, Y, Z)$  مختصات زمینی و  $(x, y)$  مختصات تصویری نقاط بوده و متغیر  $P$  چند جمله‌ای‌های توابع رشنال می‌باشد. این معادلات معمولاً تا درجه سه استفاده می‌شوند و در کل شامل ۸۰ ضریب می‌باشند. بنابراین حل این معادلات به حداقل ۴۰ نقطه کنترل زمینی نیاز دارد. در مساله‌ی زمین مرجع نمودن و تصحیح هندسی، معمولاً مقادیر  $m_1$ ،  $m_2$  و  $m_3$  برابر یک است. در این صورت معادله چند جمله‌ای طبق رابطه‌ی (۲) خواهد بود.

$$P = [a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z] + [a_4XY + a_5XZ + a_6YZ + a_7X^2 + a_8Y^2 + a_9Z^2] + [a_{10}XYZ + a_{11}X^3 + a_{12}XY^2 + a_{13}XZ^2 + a_{14}X^2Y + a_{15}Y^3 + a_{16}YZ^2 + a_{17}X^2Z + a_{18}Y^2Z + a_{19}Z^3] \quad (2)$$

معادلات رشنال به فرم ماتریسی طبق رابطه‌ی (۳) خواهد بود.

$$x = \frac{(1XY...Y^2ZZ^3)(a_0 a_1... a_{19})^T}{(1XY...Y^2ZZ^3)(1b_1... b_{19})^T} \quad (3)$$

$$y = \frac{(1XY...Y^2ZZ^3)(c_0 c_1... c_{19})^T}{(1XY...Y^2ZZ^3)(1d_1... d_{19})^T}$$

همانطور که در معادلات فوق مشاهده می‌شود با تقسیم صورت و مخرج بر  $b_0$  و  $d_0$  و در نظر گرفتن مجهول معاون‌های جدید، بدون تغییر معادلات از لحاظ دقت، تعداد ضرایب به ۷۸ ضریب کاهش می‌یابد. تنها تغییر ایجاد شده در معادلات فوق پس از انجام این فرایند، تبدیل  $b_0$  و  $d_0$  به یک است [۲۷، ۹]. در ادامه از این معادلات در زمین مرجع نمودن تصاویر مورد نظر استفاده می‌شود.

## ۳- روش‌های کشف اشتباه بر اساس کمترین مربعات

آزمون‌های آماری مختلفی برای کشف اشتباهات در یک مجموعه داده وجود دارد که بر اساس محاسبات کمترین مربعات هستند. از جمله روش‌هایی که به خصوص در کاربردهای فتوگرامتری استفاده می‌شوند موسوم به تکنیک Data Snooping و روش‌های مبتنی بر برآورد پایدار می‌باشد.

### ۳-۱- تکنیک Data Snooping

تکنیک Data Snooping یک روش آماری می‌باشد که در آن با معرفی آماره مناسب، نسبت به یافتن نقاط دارای خطای بارز اقدام می‌گردد. این آماره می‌تواند به صورت‌های متفاوت تعریف گردد. در سالهای گذشته نیز آماره‌های مختلفی توسط محققین بررسی و ارائه شده است [۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶].

در این روش فرض صفر بر مبنای تساوی واریانس مجموعه نقاط با  $\sigma_0^2 = \sigma^2$  ایجاد گردیده  $H_0$  و به منظور آزمون درست یا غلط بودن فرض صفر، از توزیع فیشر استفاده می‌گردد [۱۰].

$$F_{stat} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \quad (4)$$

اگر این مقدار، از مقدار بحرانی  $F(1 - \alpha, \nu, \infty)$  کمتر باشد فرض صفر پذیرفته شده و در غیر اینصورت فرض صفر رد می‌گردد. در این توزیع،  $\alpha$  سطح اطمینان و  $\nu, \infty$  درجه‌های آزادی می‌باشند. در ارتباط با بکارگیری رابطه فوق

طبق معادلات مربوط به سرشکنی کمترین مربعات:

$$l + v = AX \quad (10)$$

می توان رابطه (۹) را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$f(l) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} \sqrt{|\Sigma|}} e^{-\frac{1}{2} v' \Sigma^{-1} v} \quad (11)$$

در صورتی که بخواهیم تخمین مورد نظر یک تخمین با حداکثر شباهت باشد، پارامتر  $\varphi$  در رابطه زیر باید کمینه شود:

$$\varphi = \frac{1}{2} v' \Sigma^{-1} v \quad (12)$$

همانطور که بیان شد در روش کمترین مربعات، مجموع مربعات خطا کمینه می شود:

$$\sum v^2 \rightarrow \text{Min} \quad (13)$$

با استفاده از رابطه (۱۳) یافتن اشتباهات و محل آنها مشکل خواهد بود. دلیل این امر این است که طی سرشکنی کمترین مربعات، خطاها و اشتباهات در مکان هایی حضور دارند که اغلب بر روی سایر اندازه گیری ها تاثیر می گذارند، و از طرفی خود این اشتباهات غیر قابل کشف می شوند. جایگزین مناسب برای روش سرشکنی کمترین مربعات معمولی، استفاده از برآوردگر پایدار است که اصول پایه ای آن مبتنی بر یک روش انتخاب وزن برای مشاهدات در هر تکرار است. در این تکنیک، سرشکنی با روش معمول کمترین مربعات آغاز می شود. بعد از هر سرشکنی، وزن هر مشاهده در تکرار بعدی بر اساس یک تابع وزن که بر حسب باقیمانده ها و یا سایر پارامترهای مربوطه است، محاسبه می شود. در صورتی که این تابع وزن به درستی انتخاب شود، در هر تکرار وزن مشاهدات اشتباه کوچک می شود تا اینکه به صفر برسد. در پایان تکرار، نتایج سرشکنی متاثر از مشاهدات دارای اشتباه نخواهد بود. تابعی که در این حالت کمینه می شود طبق رابطه (۱۴) خواهد بود:

$$\sum (P \cdot v^2)^k \rightarrow \text{Min} \quad (14)$$

$$P^{(k+1)} = P^{(k)} \cdot f(v) \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

در این رابطه  $k$  تعداد تکرار است،  $v$  مقدار باقیمانده در هر مرحله از سرشکنی است،  $f(v)$  تابع وزن است [۲۴، ۲۰].

در عمل دو مشکل مطرح می گردد: ماتریس وارینانس-کواریانس مشاهدات در اکثر موارد بدرستی معلوم نمی باشد، در صورت رد شدن  $F_{stat}$  نمی توان تشخیص داد کدامیک از مشاهدات باعث رد شدن  $F_{stat}$  گردیده است. از این رو در عمل به منظور تعیین مشاهدات اشتباه، می بایست آزمون فوق روی هر نقطه به طور مجزا انجام پذیرد. در اینصورت فرض صفر طبق رابطه (۵) تعریف می شود:

$$H_0^v: E(v_i) = 0 \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

برای آزمون هر نقطه، مقدار  $w$  (مقدار نرمال شده باقیمانده ها) برای هر نقطه طبق رابطه (۶) قابل محاسبه می باشد:

$$w_i = \frac{|v_i|}{\sigma_0 (q_{v_i})^{1/2}} = \frac{|v_i|}{\sigma_{v_i}} \quad (6)$$

در رابطه فوق  $q_{v_i}$  مولفه  $i$ -ام قطر ماتریس کوفاکتور باقیمانده ها ( $Q_{vv}$ ) می باشد که از فرمول (۷) بدست می آید:

$$Q_{vv} = I - A(A^T A)^{-1} A^T \quad (7)$$

نقطه  $i$ -ام در صورتی دارای خطای بارز نمی باشد که  $w_i = F_{1-\alpha, \nu, \infty}^{1/2}$  از آنجایی که در روابط فوق ماتریس وارینانس-کواریانس  $\sigma_{v_1}$  مجهول می باشند، در عمل مقدار تخمینی  $\hat{\sigma}_{v_1}$  بعنوان جایگزین آن در نظر گرفته می شود.

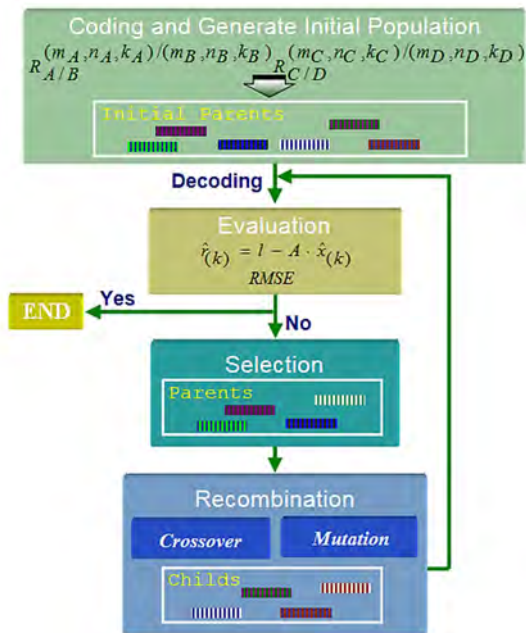
$$w_i \cong t_i = \frac{|v_i|}{\hat{\sigma}_{v_i}} \quad (8)$$

در این راستا، Baarda در تست های خود به جای تست فیشر با درجه اطمینان ۹۹ درصد از عدد ثابت استفاده کرده است [۱۱].

### ۲-۲- روش برآورد پایدار

در صورتی که مشاهدات دارای توزیع نرمال باشند، یک تابع احتمال تجمعی چند متغیره برای آنها صادق است. این تابع طبق رابطه زیر بیان می شود:

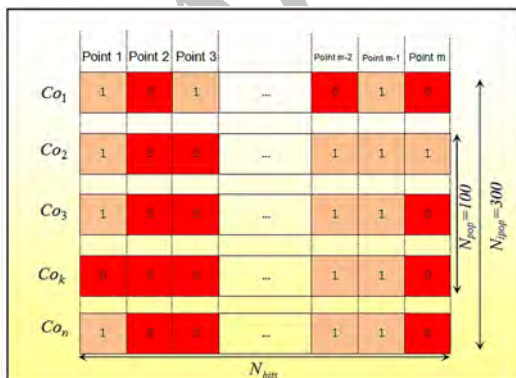
$$f(l) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} \sqrt{|\Sigma|}} e^{-\frac{1}{2} [l-E(l)] \Sigma^{-1} [l-E(l)]} \quad (9)$$



شکل ۱- جریان کاری روش ارائه شده به منظور زمین مرجع نمودن و کشف اشتباهات بر اساس الگوریتم ژنتیک.

#### ۴-۱- نمایش کروموزوم

برای کشف اشتباهات، در هر تکرار تعدادی از نقاط کنترل زمینی به صورت تصادفی به عنوان نقاط کنترلی انتخاب می‌شوند. از آنجایی که ساختار کدینگ کروموزوم، از نوع باینری است، شماره‌ی هر نقطه به صورت یک رشته بیت کدگذاری می‌شود (شکل ۲)، و در پایان هر تکرار، برای محاسبه‌ی مقدار بهینه، کروموزوم‌ها دوباره تبدیل به اعداد صحیح (شماره‌ی هر نقطه) می‌شوند و در مدل ریاضی شرکت می‌کنند.



شکل ۲- نحوه کدگذاری در الگوریتم ارائه شده.

#### ۴- زمین مرجع نمودن و کشف اشتباهات با استفاده از الگوریتم ژنتیک

با توجه به مفاهیم مطرح شده، در حالتی که خطاهای سیستماتیک و اشتباهات چه در مدل ریاضی و چه در مشاهدات حضور داشته باشند، روش‌های کمترین مربعات، در یافتن اشتباهات و حذف اثر آنها از روی نتایج ناتوان هستند. در حالتی که این اشتباهات، گروهی باشند، این مشکلات جدی‌تر خواهد بود. روش Data Snooping نیاز به عناصر قطری ماتریس کوفاکتور دارد و دارای حجم بالایی از محاسبات است. همچنین در این روش، فاکتور واریانس اولیه متأثر از اشتباهات است [۲۰]. در مقابل، برآوردگر پایدار، راه حلی با حداکثر پایداری ارائه می‌دهد که توانایی تعیین و تشخیص این گونه اشتباهات را دارد. اما نکته قابل توجه این است که این روش که بر اساس سرشکنی‌های کمترین مربعات وزن دار و به صورت تکراری عمل می‌کند، در مقابل حضور اشتباهات در یک مجموعه داده، کاملاً پایدار نیست. علاوه بر این هنگامی که تراکم مشاهدات کم است، این روش قادر به یافتن اشتباهات نخواهد بود [۲۰].

به علت چنین مشکلاتی، روشی جدید مبتنی بر الگوریتم ژنتیک به منظور زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای و کشف هم زمان اشتباهات ارائه می‌شود. استفاده از الگوریتم ژنتیک برای این منظور، نیاز به تعیین شش مرحله‌ی بنیادی دارد: الف) نمایش کروموزوم (مساله‌ی کدینگ)، ب) مقداردهی اولیه (ساخت جمعیت اولیه)، ج) تابع ارزیابی، د) انتخاب طبیعی، ه) ترکیب سازی مجدد، و) معیارهای توقف الگوریتم. هر کدام از این زیر بخش‌ها در ادامه توضیح داده می‌شوند. بر اساس این زیر بخش‌ها روند محاسبات روش ارائه شده در این تحقیق در شکل (۱) مشاهده می‌شود.

#### ۲-۴- مقداردهی اولیه

الگوریتم ژنتیک مورد نظر با جامعه‌ی بزرگی از کروموزوم‌ها به عنوان جمعیت اولیه شروع می‌شود. این جمعیت اولیه دارای ۳۰۰ کروموزوم است. که با  $N_{ipop}$  نمایش داده می‌شود. این جمعیت اولیه نسبتاً بزرگ باعث می‌شود یک نمونه‌برداری کامل و جامع از فضای جستجو فراهم شود. این جمعیت اولیه یک ماتریس با ابعاد  $N_{ipop} \times N_{ipop}$  است که آرایه‌های آن، مقادیر تصادفی از شماره‌ی نقاط است که با استفاده از روش باینری کدگذاری شده‌اند. از آنجایی که این جمعیت اولیه برای مراحل تکراری الگوریتم ژنتیک بسیار بزرگ است، بخش زیادی از کروموزوم‌هایی که دارای مقادیر fitness بالا هستند طی پروسه‌ی انتخاب طبیعی حذف می‌شوند. در ابتدا به تعداد  $N_{ipop}$  کروموزوم با مقادیر آنها به صورت صعودی مرتب می‌شوند. سپس تنها بهترین اعضای جمعیت با شرط  $N_{pop} \leq N_{ipop}$  در هر تکرار نگه داشته می‌شوند و بقیه اعضا حذف می‌شوند. در این تحقیق، با توجه به آزمایشات انجام یافته،  $N_{pop}$  برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.

#### ۳-۴- تابع ارزیابی

در روش ارائه شده، تابع ارزیابی مورد نظر برای الگوریتم ژنتیک، جذر میانگین مربعات باقیمانده‌های برآورد کمترین مربعات است که بر روی یک مدل رشنال اعمال شده است. بنابراین، معیار fitness و یا به عبارتی تابع هدف در روش مورد نظر، بیشینه شدن باقیمانده‌های مربوط به نقاط چک مستقل است. معادلات مشاهدات کمترین مربعات برای ارزیابی مشاهدات طبق رابطه‌ی زیر بیان می‌شود:

$$l + v = A \cdot x \quad (15)$$

به طوری که:

$$l = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} a_0 \\ \vdots \\ a_s \\ b_1 \\ \vdots \\ b_s \\ c_0 \\ \vdots \\ c_s \\ d_1 \\ \vdots \\ d_s \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 1 & z_1 & \dots & x_1^2 & -y_1 z_1 & \dots & -y_1 x_1^2 \\ 1 & z_2 & \dots & x_2^2 & -y_2 z_2 & \dots & -y_2 x_2^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & z_n & \dots & x_n^2 & -y_n z_n & \dots & -y_n x_n^2 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & z_1 & \dots & x_1^2 & -y_1 z_1 & \dots & -y_1 x_1^2 \\ 1 & z_2 & \dots & x_2^2 & -y_2 z_2 & \dots & -y_2 x_2^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & z_n & \dots & x_n^2 & -y_n z_n & \dots & -y_n x_n^2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

در معادله فوق،  $x, y, z$  و  $X, Y, Z$  مختصات نقطه تصویری و مختصات زمینی متناظر با آن و ضرایب  $a_0, \dots, a_s, b_1, \dots, b_s, c_0, \dots, c_s, d_1, \dots, d_s$  پارامترهای مربوط به زمین مرجع نمودن است. طی برآورد کمترین مربعات، از طریق بیشینه کردن باقیمانده‌های مربوط به نقاط چک مستقل، مقادیر برآورد شده‌ی پارامترها طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شوند:

$$(A^t \cdot P \cdot A) \cdot x = A^t \cdot P \cdot l \quad (17)$$

$$\xrightarrow{\text{Regularization}} (A^t \cdot P \cdot A + h^2 E) \cdot x = A^t \cdot P \cdot l$$

در این رابطه  $E$  ماتریس واحد است. در این حالت پارامترهای زمین مرجع نمودن با استفاده از روش Tikhonov به صورت تکراری طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۷]:

$$\hat{x}^{(k)} = \hat{x}^{(k-1)} + N^{-1} \cdot A^t \cdot P_{(k-1)} \cdot r_{(k-1)} \quad (18)$$

$$\therefore N_{(k)} = A^t \cdot P_{(k-1)} \cdot A + h^2 E$$

$$\therefore P_{(k)} = P(x_{(k)})$$

$$\therefore r_{(k)} = l - A \cdot x_{(k)}$$

for  $k = 1, 2, \dots, K$

در این تحقیق:

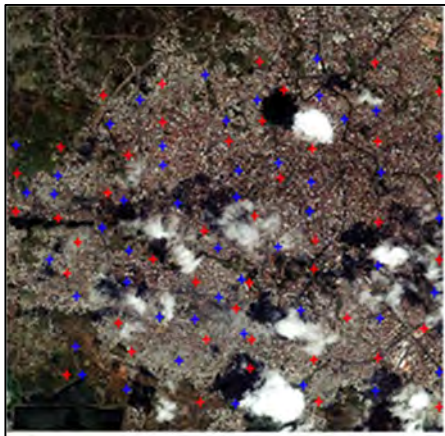
$$\hat{x}_{(0)} = 0, P_{(0)} = P(x_{(0)}) = E, h = 0.001 \quad (19)$$

با محاسبه‌ی پارامترهای زمین مرجع نمودن و باقیمانده‌ها در هر تکرار، مقدار RMSE نقاط کنترل و چک به طور هم زمان به عنوان معیار ارزیابی برای مرتب سازی کروموزوم‌ها در هر نسل استفاده می‌شوند.

#### ۴-۴- انتخاب طبیعی

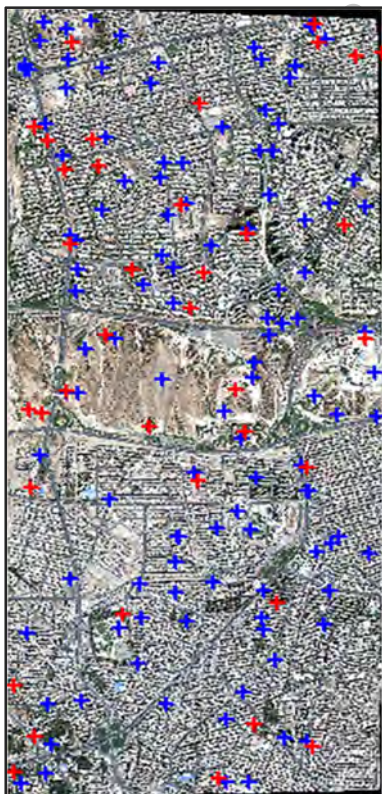
انتخاب اعضا برای تولید یک نسل موفق، نقش کلیدی در الگوریتم ژنتیک دارد. بدین منظور یک انتخاب تصادفی بر اساس مقدار fitness هر عضو انجام می‌شود به طوری که بهترین عضو، احتمال انتخاب بیشتری داشته باشد. روش‌های مختلفی برای انتخاب اعضا وجود دارد که عبارت است از: انتخاب چرخ گردان، روش‌های مقیاس دهی، روش‌های مسابقه‌ای و مرتب سازی [۱۸، ۱۹]. در روش مورد نظر، از تکنیک چرخ گردان استفاده شده است که توسط Holland در سال ۱۹۷۵ ارائه شد. احتمال انتخاب هر عضو،  $P_{ri}$  طبق رابطه‌ی (۲۰) محاسبه می‌شود.

داده ماهواره‌ای IKONOS (شکل ۳) و WorldView2 (شکل ۴) و مدل هندسی آن، انجام شده است.



شکل ۳- داده ماهواره‌ای IKONOS از شهر رشت و نقاط کنترل زمینی انتخاب شده.

ابعاد تصویر IKONOS ۳۰ کیلومترمربع و مربوط به شهر رشت، و ابعاد تصویر WorldView2 ۲۵ کیلومتر مربع و مربوط به قسمت غربی شهر تهران است. به ترتیب حدود ۹۴ و ۱۶۰ نقطه کنترل زمینی بر روی تصاویر، با استفاده از یک نقشه‌ی سه بعدی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ با بیضوی WGS84 استخراج شده است.



شکل ۴- داده ماهواره‌ای WorldView2 از شهر تهران و نقاط کنترل زمینی انتخاب شده.

$$P_i [\text{Individual } i \text{ is chosen}] = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^{PopSize} F_j} \quad (20)$$

در این رابطه،  $F_i$  مقدار fitness هر عضو  $i$  است.

#### ۴-۵- ترکیب سازی مجدد

عملگرهای ژنتیک در پروسه‌ی ترکیب سازی مجدد، مکانیزم جستجوی پایه را فراهم می‌کنند. این عملگرها برای راه حل جدید بر اساس راه حل موجود در جمعیت استفاده می‌شوند. دو نوع از این عملگرها عبارت است از: عملگر ترکیب<sup>۱</sup> و عملگر جهش<sup>۲</sup>.

**عملگر ترکیب:** بعد از انتخاب دو عضو از والدین، مرحله‌ی بعدی ترکیب این دو عضو است. بسته به مقدار احتمال اعضا که از قبل تعریف شده‌اند، شماره‌ی نقطه کنترلی که به صورت باینری کدگذاری شده است، با استفاده از الگوریتم ترکیب یکنواخت با هم ترکیب می‌شوند. در این روش به صورت تصادفی یک بیت از هر یک از والدین برای فرزند جدید انتخاب می‌شود.

**عملگر جهش:** در روش ارائه شده، یک الگوریتم جهش چند نقطه‌ای استفاده شده است. در این تکنیک، یک موقعیت تصادفی بر روی کروموزوم مربوطه انتخاب و مقدار بیت آن عوض می‌شود. در این تحقیق، مقدار مناسب برای جهش بین ۰/۱ تا ۰/۲ است.

#### ۴-۶- معیار توقف

در روش مورد نظر، در صورتی که میانگین یا انحراف معیار استاندارد از هزینه جمعیت (RMSE) به مقدار مشخصی برسد، پروسه‌ی بهینه سازی متوقف می‌شود. با این حال اگر شرط مذکور برقرار نشود، پروسه بعد از ۱۰۰ تکرار متوقف می‌شود.

#### ۵- پیاده سازی روش و ارزیابی نتایج

در این تحقیق، آزمایشات مختلف برای ارزیابی روش‌های کشف اشتباه در نقاط کنترل زمینی و یافتن محل آنها با استفاده از دو تصویر pan sharpen مربوط به

۱ Crossover  
۲ Mutation

نقاط کنترل زمینی گوشه‌ی دیوارها و تقاطع جاده‌ها است که با استفاده از نرم افزار PCI اندازه‌گیری شده‌اند. توانایی روش‌های مختلف کشف اشتباه بر اساس انعطاف و پایداری مدل‌ها و بر حسب توزیع‌های مختلف از اشتباهات (مسطحاتی و ارتفاعی، منفرد و گروهی) در هر دو تصویر ماهواره‌ای بررسی شدند.

### • تصویر IKONOS

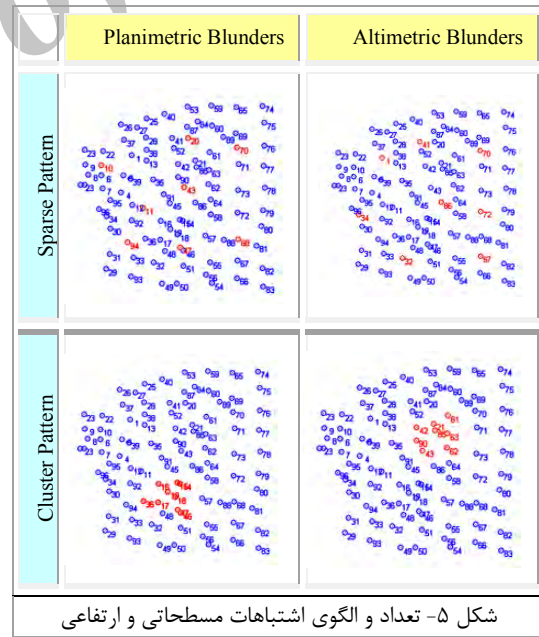
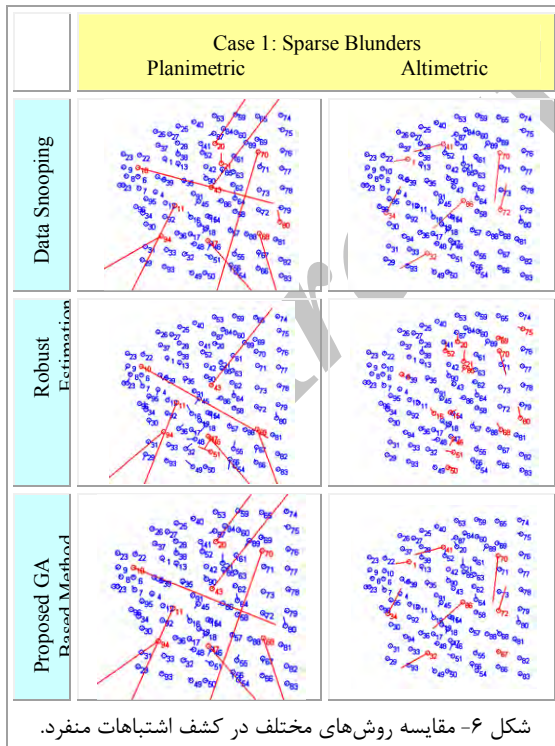
شکل (۵) توزیع اشتباهات را در منطقه مورد نظر در تصویر IKONOS نشان می‌دهد. نقاط قرمز در این شکل اشتباهات هستند. بعضی از اشتباهات مانند نقطه شماره ۷۰ هم مسطحاتی و هم ارتفاعی هستند.

**اشتباهات منفرد:** یک سری از اشتباهات منفرد وارد مرحله سرشکنی می‌شوند. بسته به بزرگی این اشتباهات، توزیع آنها و مشاهدات خاص، میزان حساسیت برآورد کمترین مربعات نسبت به این اشتباهات می‌تواند کم و یا زیاد باشد.

Data Snooping و برآورد پایدار در تشخیص بعضی از اشتباهات ناتوان بوده‌اند و بعضی از نقاط صحیح را به عنوان اشتباه تشخیص داده‌اند. در حالی که روش ارائه شده مبتنی بر الگوریتم ژنتیک تمامی اشتباهات را به درستی تشخیص داده است.

**اشتباهات گروهی:** تعدادی اشتباه گروهی در نقاط کنترل زمینی قرار داده شد. نتایج کشف اشتباهات گروهی با استفاده از سه روش مطرح شده در شکل (۷) نشان داده شده است. با مقایسه‌ی شکل (۵) و شکل (۷) با یکدیگر، مشاهده می‌شود که هر دو روش Data Snooping و برآورد پایدار در تشخیص بعضی از اشتباهات ناتوان بوده‌اند و بعضی از نقاط صحیح را به عنوان اشتباه تشخیص داده‌اند. در حالی که روش ارائه شده مبتنی بر الگوریتم ژنتیک تمامی اشتباهات را به درستی تشخیص داده است زیرا این الگوریتم، یک روش بهینه‌سازی کلی است.

در شکل (۸) و شکل (۹) نمودار همگرایی میانگین مقادیر fitness بر حسب تعداد تکرار در روش الگوریتم ژنتیک و مربوط به تصویر IKONOS مشاهده می‌شود.

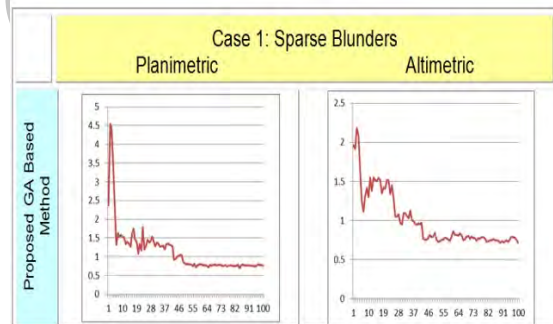
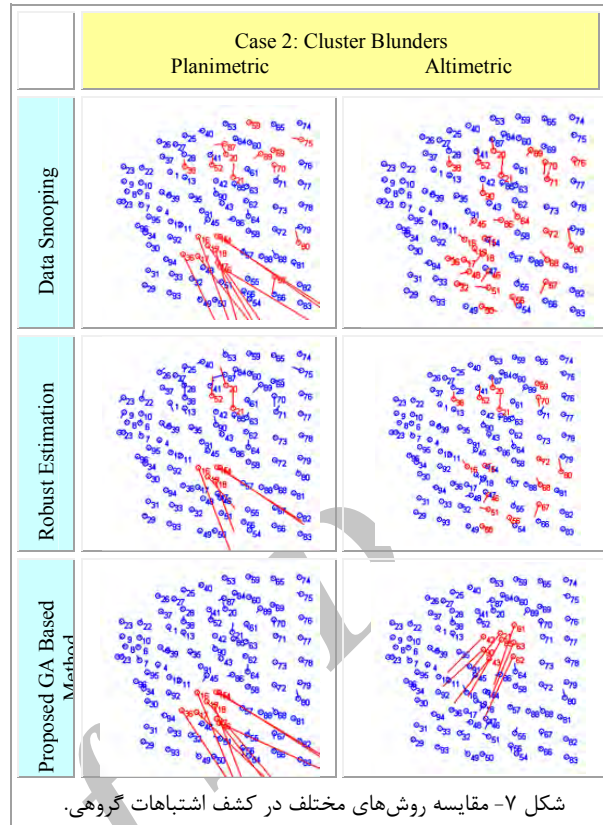
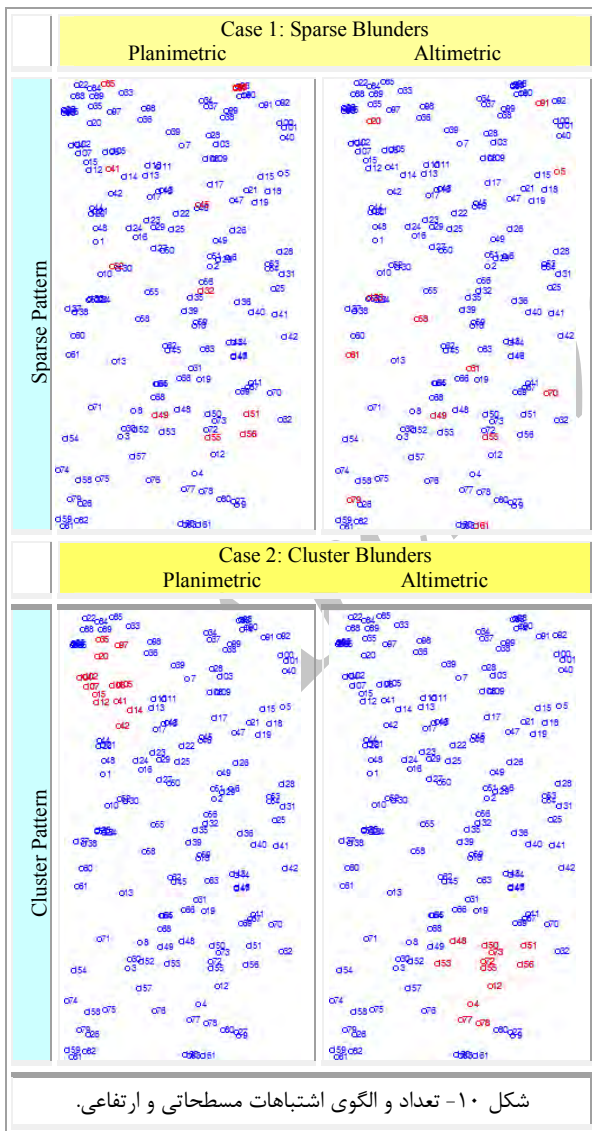


نتایج کشف اشتباهات منفرد با استفاده از سه روش مطرح شده در شکل (۶) نشان داده شده است. در این شکل، نقاطی هستند که الگوریتم مربوطه آنها را به عنوان اشتباه شناخته است، و خطوط مستقیم، باقیمانده‌ی محاسبه شده برای این اشتباهات است. با مقایسه‌ی شکل (۵) و شکل (۶) با یکدیگر، مشاهده می‌شود که هر دو روش

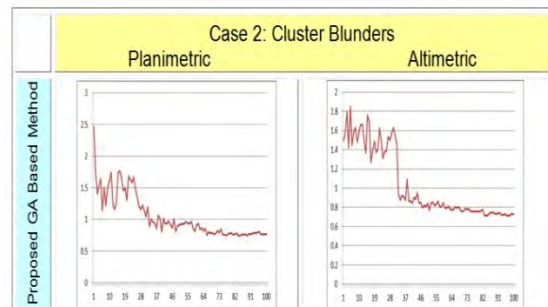


• تصویر WorldView2

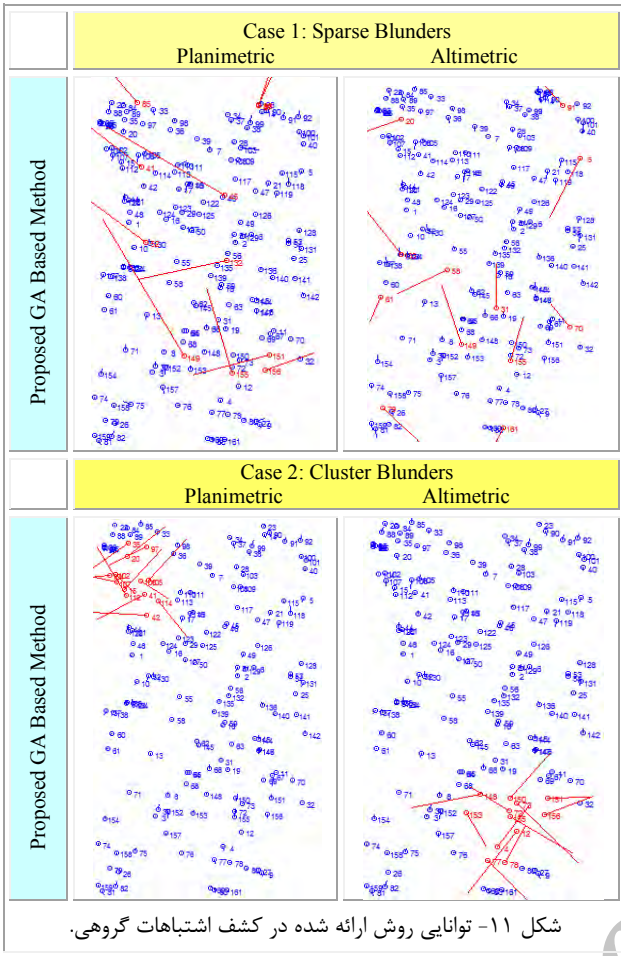
شکل (۱۰) توزیع اشتباهات را در منطقه مورد نظر در تصویر WorldView2 نشان می‌دهد. نقاط قرمز در این شکل اشتباهات هستند. در این منطقه، تعداد زیادی از نقاط هم مسطحی و هم ارتفاعی هستند. **اشتباهات منفرد:** نتایج کشف اشتباهات منفرد با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شکل (۱۱) نشان داده شده است. در این داده نیز، نقاطی هستند که الگوریتم مربوطه آنها را به عنوان اشتباه شناخته است، و خطوط مستقیم، باقیمانده‌ی محاسبه شده برای این اشتباهات است. همانند قبل، روش ارائه شده مبتنی بر الگوریتم ژنتیک تمامی اشتباهات را به درستی تشخیص داده است.



شکل ۸- نمودار همگرایی در کشف اشتباهات منفرد در نقاط مسطحی و ارتفاعی.

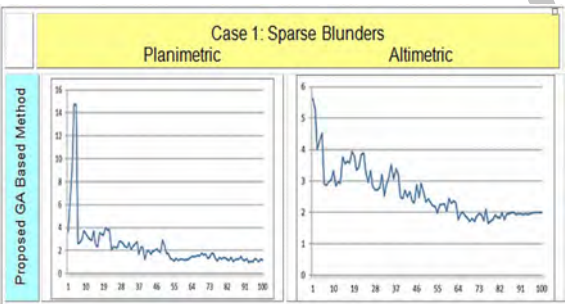


شکل ۹- نمودار همگرایی در کشف اشتباهات گروهی در نقاط مسطحی و ارتفاعی.



**اشتباهات گروهی:** تعدادی اشتباه گروهی در نقاط کنترل زمینی قرار داده شد. نتایج کشف اشتباهات گروهی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شکل (۱۱) نشان داده شده است. در این آزمایش همانند قبل، روش ارائه شده مبتنی بر الگوریتم ژنتیک تمامی اشتباهات گروهی را به درستی تشخیص داده است.

در شکل (۱۲) و شکل (۱۳) نمودار همگرایی میانگین مقادیر fitness بر حسب تعداد تکرار در روش الگوریتم ژنتیک و مربوط به تصویر WorldView2 مشاهده می شود. در تمام تصاویر فوق، کارایی الگوریتم ژنتیک ارائه شده در کشف اشتباهات در انواع تصاویر ماهواره‌ای نسبت به روش‌های معمول مشاهده می شود. در روش برآورد پایدار، وزن هر مشاهده بر اساس باقیمانده‌های نرمال شده مرحله‌ی قبلی سرشکنی تغییر می کند. همانطور که در تصاویر فوق دیده شد، این روش در نقاط مسطح‌تری دارای عملکرد بهتری نسبت به نقاط ارتفاعی است. علاوه بر این، انتخاب تابع وزن مساله‌ی مهمی در روش برآورد پایدار است و برای افزایش کارایی این روش، تابع وزن باید با دقت زیادی تعیین شود. با استفاده از روش Data Snooping، تعداد زیادی از نقاط صحیح به عنوان خطا شناسایی شده‌اند. علاوه بر این، تست‌های زیادی با انواع ترکیبات مشاهدات انجام شد، در اکثر مواقع معکوس ماتریس کوفاکتور باقیمانده‌ها در این تست‌ها وجود نداشت و حل مساله متوقف می شد. همچنین، در نظر گرفتن یک سری فرض‌های اولیه در هر دو روش مورد نیاز است که عبارت است از: اشتباهات به صورت نرمال، توزیع شده باشند، امید ریاضی این خطاها صفر و واریانس آنها از قبل معلوم باشد. با این حال در داده‌های فتوگرامتری، توزیع اشتباهات اغلب نرمال نیست و امید ریاضی آنها در صورتی صفر است که خطای سیستماتیک در مشاهدات حضور نداشته باشد. این روش‌ها تنها اگر یک مشاهده‌ی اشتباه وجود داشته باشد، کارایی مورد نظر را دارند.



شکل ۱۲- نمودار همگرایی در کشف اشتباهات منفرد در نقاط مسطح‌تری و ارتفاعی.



شکل ۱۳- نمودار همگرایی در کشف اشتباهات گروهی در نقاط مسطح‌تری و ارتفاعی.

نکته‌ی دیگر در خصوص این دو روش، بالا بودن زمان محاسباتی است که مانع استفاده از آنها در فرآیندهای آنی می شود.

## ۶- نتیجه گیری

دقت زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا وابسته به کیفیت نقاط کنترل زمینی است. برای کشف و تعیین محل اشتباهات موجود در نقاط کنترل زمینی، روش‌های مختلفی وجود دارد. در این تحقیق، روشی جدید به منظور زمین مرجع نمودن تصاویر و کشف هم‌زمان اشتباهات بر اساس الگوریتم ژنتیک ارائه و نتایج حاصل از آن با دو روش سنتی بر اساس سرشکنی کمترین مربعات مقایسه شد. نتایج حاصل از آزمایشات مختلف با توزیع مختلف اشتباهات در پروسه‌ی مرجع نمودن دو تصویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا در مناطق مختلف، نشان دهنده‌ی پایداری و دقت الگوریتم پیشنهاد شده در این تحقیق است. با این حال، عملکرد مناسب برای الگوریتم‌های تکاملی وابسته به تنظیم یک سری پارامتر به طور صحیح است و تحقیقات بیشتری در این زمینه مورد نیاز است.

از طرفی، الگوریتم ژنتیک با جامعه‌ای از کروموزوم‌ها کار می‌کند و نیازی به دانستن اطلاعاتی از نوع مساله ندارد و تنها بر اساس ارزیابی هر کروموزوم مساله را حل می‌کند. این روش، با به کارگیری دو عملگر ترکیب و جهش، از جستجوی محلی دور شده و به سمت جستجوی کلی می‌رود. همانطور که در تصاویر فوق مشاهده شد، احتمال انتخاب یک مشاهده‌ی صحیح به عنوان اشتباه در این روش خیلی پایین است و تمامی اشتباهات چه مسطحاتی و چه ارتفاعی، به درستی پیدا شده‌اند. از آنجایی که الگوریتم ژنتیک از یک فرآیند تصادفی در ایجاد جمعیت اولیه استفاده می‌کند و به تدریج آن را بهبود می‌بخشد در هر بار تکرار، مقادیر RMSE متفاوت می‌شود. بنابراین، نمودار همگرایی برای میانگین مقادیر RMSE که از ۱۰۰ بار اجرای الگوریتم به دست آمده است، می‌تواند کارایی الگوریتم را نشان دهد. در هر دو دسته از مشاهدات منفرد و گروهی، نمودارهای همگرایی نشان دهنده‌ی موفقیت الگوریتم تکاملی ارائه شده نسبت به روش‌های معمول در کشف اشتباهات است.

## مراجع

- [1] Willneff, J., Poon, J., (2006). "Georeferencing from orthorectified and non-orthorectified high resolution satellite imagery", CRC for Spatial Information, University of Melbourne, VIC 3010, Australia.
- [2] Bozzini, C., Krebs, P., Conedera, M., (2009). "Quantifying landscape changes through the Georeferencing of single oblique historical photos", Swiss federal Research Institute WSL, Insubric Ecosystem Group, Bellinzona, Switzerland.
- [3] Zhu, L., Erving, A., Koistinen, K., Nuikka, M., Junnilainen, H., Heiska, N., Haggrén, H., (2008). "Georeferencing multi-temporal and multi-scaled imagery in photogrammetry", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing.
- [4] Sivanandam, S., and Deepa, S., (2007). "Introduction to genetic algorithm", Springer Verlag.
- [5] Petrowski, J., Taillard, P., (2006). "Metaheuristics for Hard Optimization", Springer Verlag.
- [6] Tao, V., Hu, Y., (2001). "A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 67 (12), 1347-1357.
- [7] Tao, V., Hu, Y., (2002). "3D reconstruction methods based on the rational function model", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68 (7), 705 - 714.
- [8] Fraser, C.S., Dial, G., Grodecki, J., (2006). "Sensor orientation via RPCs", ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 60, 182-194.
- [9] Grodecki, J. and Dial, D., (2003). "Block Adjustment of High-resolution satellite Images Described by Rational Polynomials", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69: 59-68.
- [10] Fisher, P., (1998). "Improved modeling of elevation error with geostatistics", Geoinformatica, Vol. 2, No. 3, pp. 215-233.

- [11] Baarda, W., (1968). "A testing procedure for use in geodetic networks", Delft, Kanaalweg 4, Rijkscommissie voor Geodesie, 1968., Vol. 1.
- [12] Hampel, F.R., (1973). "Robust estimation: A condensed partial survey", Probability Theory and Related Fields, Vol. 27, No. 2, pp. 87–104.
- [13] Huber, P.J., Ronchetti, E., and MyLibrary, (1981). "Robust statistics", Wiley Online Library.
- [14] Pope, A.J., (1976). "The statistics of residuals and the detection of outliers".
- [15] Rousseeuw, P.J., Leroy, A.M., and Wiley, J., (1987). "Robust regression and outlier detection", Wiley Online Library.
- [16] Vaníček, P., Krakiwsky, E.J., (1986). "Geodesy, the concepts", Elsevier Science Ltd.
- [17] Adjiman, C.S., Dallwig, S., Floudas C.A. and Neumaier, A. (1998). "A global optimization method, alphaBB, for general twice-differentiable constrained NLPs – I", Theoretical advances, Computers and Chemical Engineering 22, 1137-1158.
- [18] Goldberg, D.E., (1989). "Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning", Addison-Wesley Longman.
- [19] Michalewicz, Z., (1994). "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs", AI Series, Springer-Verlag, New York.
- [20] Jacobsen, K., (1984). "Experience in Blunder Detection for Aerial Triangulation", SPRS Com III, Rio de Janeiro, Page(s) 440-447.
- [21] Deltsidis, P., Ioannidis, C., (2011). "ORTHO RECTIFICATION OF WORLD VIEW 2 STEREO PAIR USING A NEW RIGOROUS ORIENTATION MODEL", Laboratory of Photogrammetry, National Technical University of Athens, Commission IV, WG IV/2, ISPRS Archives – Volume XXXVIII-4/W19, 2011, Page(s) 6.
- [22] Oh, J., Toth, C. K., Grejner-Brzezinska, D. A., (2010). "Automatic Georeferencing of Aerial Images Using High Resolution Stereo Satellite Images", Satellite Positioning and Inertial Navigation (SPIN) Laboratory, The Ohio State university, ASPRS 2010 Annual Conference, San Diego, California, April 26-30, 2010
- [23] Meguro, Y., Fraser, C.S., (2010). "GEOREFERENCING ACCURACY OF GEOEYE-1 STEREO IMAGERY: EXPERIENCES IN A JAPANESE TEST FIELD", Department of Geomatics, University of Melbourne VIC 3010, Australia, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan 2010
- [24] Gasincova, S., Gasinec, J., Weiss, G., Labant, S., (2011). "Application of Robust Estimation Methods For The Analysis of Outlier Measurement", Institute of Geodesy, Cartography and Geographic Information System, Faculty of Mining, Technical University of KASICE, GeoScience Engineering, Volume LVII, No.3, P. 14-29, ISSN 1802-5420.
- [25] Lochtefeld, Darrell F. (2011). "Multi-objectivization in Genetic Algorithms", A dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, Wright State University, Engineering PhD, Computer Science; Industrial Engineering; Operations Research, Page 276p.
- [26] Li, W., Guo, G., Yan, T., (2012). "A Multi-objective Genetic Algorithm Based on Clustering", IEEE Computer Society Washington, Second International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application, Pages 41-43, ISBN: 978-0-7695-4608-7.
- [27] Xiong, Z., Zhang, Y., (2009). "A Generic Method for RPC Refinement Using Ground Control Information", Department of Geodesy & Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 75, No. 9, September 2009, pp. 1083–1092.
- [28] Popa, R., (2012). "Genetic Algorithms in Applications", ISBN 978-953-51-0400-1, Hard cover, 328 pages, Publisher: InTech, Published: March 21, 2012 under CC BY 3.0 license, DOI: 10.5772/2675.